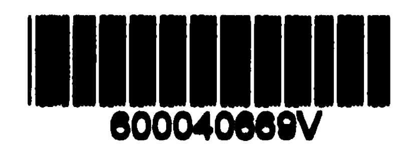
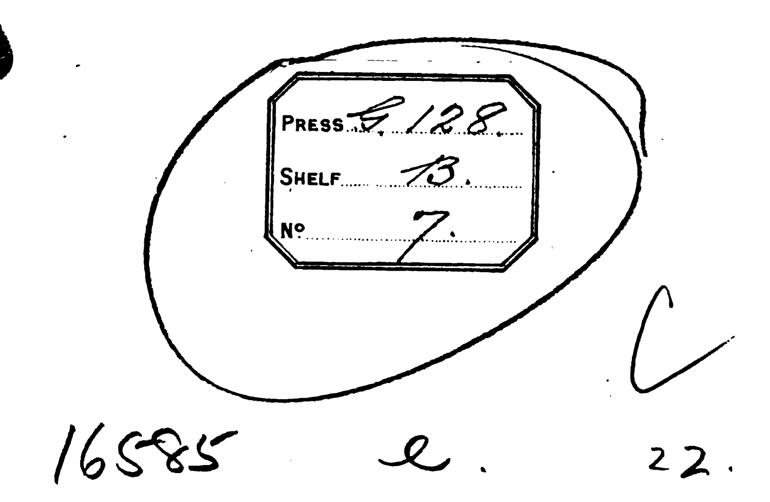
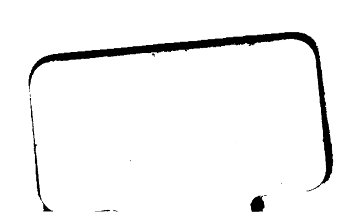


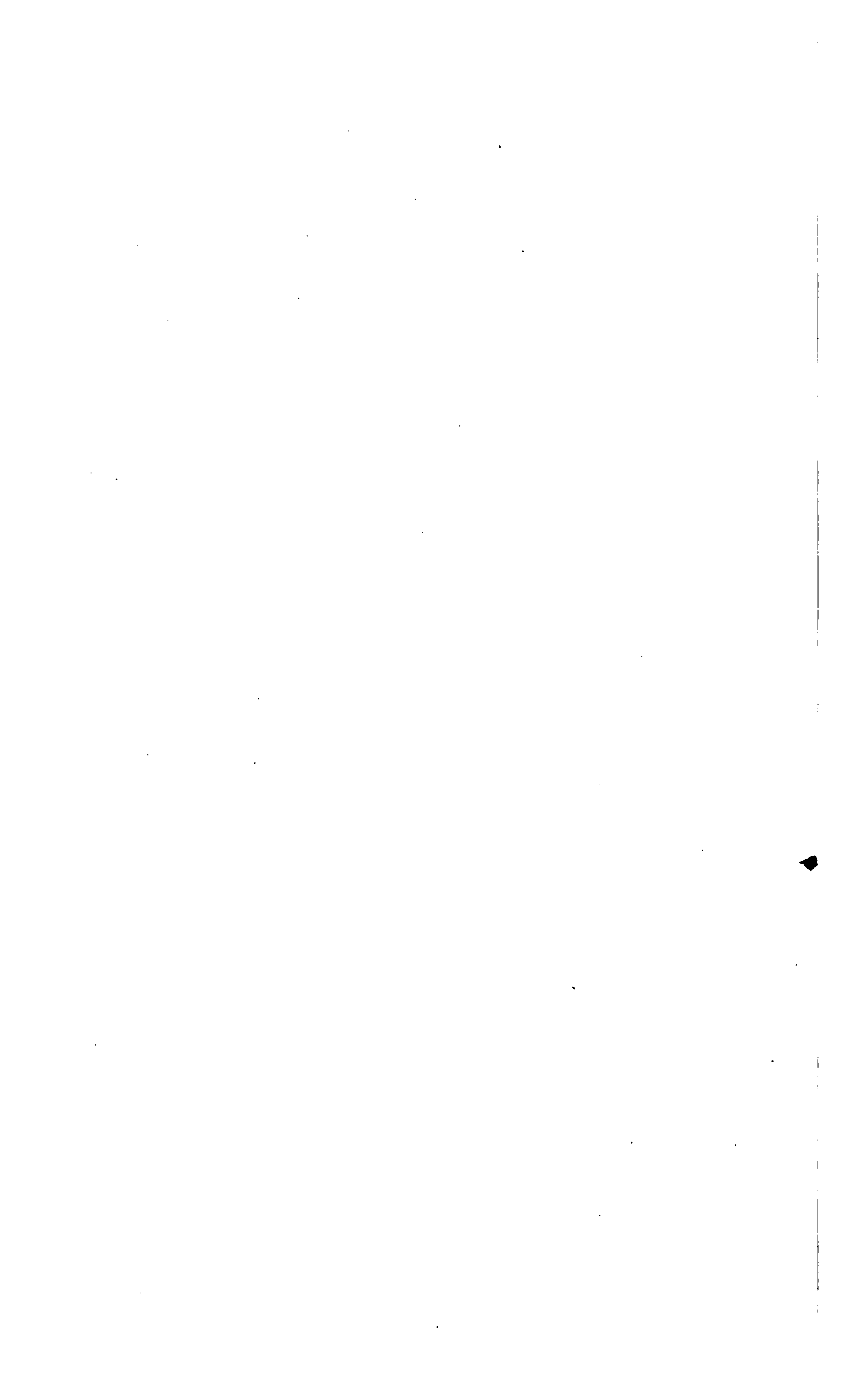


585
. 22


600040669V


PRESS G.128.
SHELF 13.
No 7.





Presented by Mrs Rolleston.

Beiträge zu einer Theorie

des

Fluges der Vögel, der Insekten

und

Fledermäuse,

gemeinfasslich dargestellt und durch Holzschnitte erleuchtert

von

C. J. L. Krarup-Hansen,

gewesener Subrector an der dänischen gelehrten Schule in Hadersleben.

Copenhagen.

Verlag von Chr. Steen u. Sohn.

Gedruckt bei H. H. Thiele.

1869.

Vorwort.

Um diese Theorie zu genauen Bestimmungen anzuwenden würden weitläufigere Messungen und schwierigere Berechnungen, die nicht gemeinfasslich dargestellt werden können, erforderlich sein. Desswegen habe ich mich dazu beschränkt einige annähernde Ermittelungen anzugeben, die unter Anderm zeigen, wie unnütz es ist auf Flugmaschinen zu arbeiten, wenn man keine Maschine hat, die im Verhältniss zu ihrem Gewichte grössere Kraft als die gewöhnlichen Dampfmaschinen entwickele. Dies hindert doch nicht, dass man auf die Mittel, die in der Natur angewandt werden, mit Interesse seine Aufmerksamkeit richte, was wenigstens mir, so weit als ich gekommen, die eine Ueberraschung nach der andern gegeben hat. Weil aber viel Mehr, als Einer vermag, zu erforschen und wahrnehmen ist, stelle ich hier, was ich gefunden habe, zur mehrseitigen Prüfung Anderer dar.

Fredericia, im April 1869.

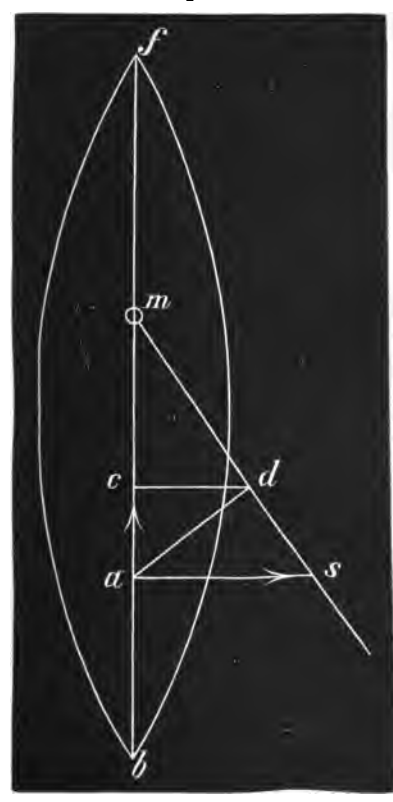
Krarup-Hansen.

Inhalt.

Die Flügelbewegung.

Da die Flügelbewegung eine zusammengesetzte Bewegung ist, kann man um sie leichter zu verstehen zuerst den einfacheren Fall, dass ein Boot durch den Wind, gerade von der Seite kommend, vorwärts getrieben wird, betrachten. Kommt der Wind z. B. von der linken Seite, wird das Hauptsegel (*ms* Fig. 1) in eine schräge Stellung vom Maste (*m*) rechts und rückwärts (am günstigsten unter einem Winkel von c. 35° mit dem Kiele *bf*) gestellt. Die Kraft des Windes (*as*) wird dann in 2 Kräfte aufgelöst, deren die eine

Fig. 1.



(*ds*) einen Luftstrom rückwärts längs des Segels führt, und die andere (*ad*) das Segel spannt und rechtwinkelig auf seine Fläche drückt.

Da der Kiel das Boot daran hindert diesem Drucke zu folgen, löst sich dieser wieder in zwei Kräfte auf, deren die eine (*ac*) gleichlaufend mit dem Kiele wirkt und das Boot in der Richtung des Kieles vorwärts treibt, die andere (*cd*) bloss das Boot zum Neigen bringt.

Käme der Wind gerade von der rechten Seite, müsste das Segel schräge links und rückswärts gestellt werden. Käme der Wind abwechselnd von der linken und der rechten Seite, und würde das Segel entsprechend rechts und links geworfen, würde das Boot fortfahrend in derselben Richtung vorwärts gehen, desto genauer, je schärfer und hervortretender der Vordersteven und der Kiel wären. Denkt man sich dies geschwind geschehen, hat man eine Vorstellung, die zum Theil der Flügelbewegung der fliegenden Thiere ähnlich ist.

Die Flügel aller fliegenden Thiere haben nämlich das gemein, dass sie einen steifen Vorderrand haben, hinter welchem sich eine dünne, leichte und elastische Fläche ausbreitet. Bei Vögeln und Fledermäusen wird der Vorderrand von den Knochen der Vorderglieder gestützt, die Fläche aus Schwungfedern oder Flughaut bebildet. Bei Insekten sind am Vorderrande die Luftröhren am

stärksten und am dichtesten gestellt, durch querlaufende Luftröhren oder eigene Bänder verbunden.

Wenn nun ein fliegendes Thier, dessen Längenrichtung vorläufig wagerecht gedacht wird, die Flügel einfach auf und ab bewegt, beschreiben die Flügelspitzen Bogen von gegen 180° in einer senkrechten Ebene. Man hört z. B. nicht selten beim Auffluge der Tauben die Flügel oben und seltener unten zusammenschlagen. In der Mittelstellung, wenn die Flügel wagerecht sind, ist die Geschwindigkeit am grössten. Die Flügelflächen, die von der Luft Widerstand erleiden, können nicht mitfolgen, sondern drehen sich um die Vorderränder als Achsen (c. 35° zu jeder Seite) dermaassen, dass, wenn die Vorderränder abwärts geschlagen werden, die Hinterränder höher stehen, und wenn die Vorderränder aufwärts geschlagen werden, die Hinterränder niedriger stehen. Der Widerstand der Luft, der in entgegengesetzter Richtung des Schlages (also in einer senkrechten Ebene) wirkt, trifft dann eine schräge Fläche und theilt sich in 2 Kräfte, deren die eine rechwinkelig auf die Flügelfläche drückt, mithin:

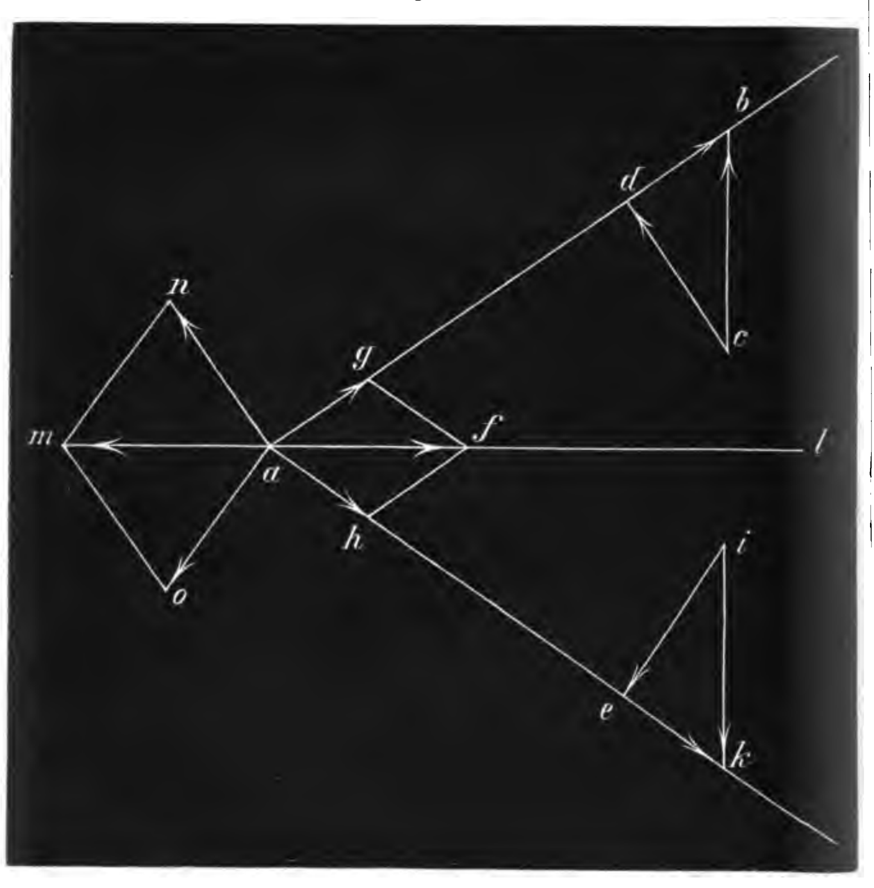
beim Abwärtsschlage aufwärts und vorwärts,

beim Aufwärtsschlage abwärts und vorwärts;

die andere einen Luftstrom längs der Flügelfläche führt, mithin:

beim Abwärtsschlage aufwärts und rückwärts,
beim Aufwärtsschlage abwärts und rückwärts.
Die 2 ersten vereinigen sich zu 1 Kraft, die den

Fig. 2.



Körper des Thieres vorwärts treibt, der bewegenden Kraft;

die 2 letzten zu 1 Kraft, die einen Luftstrom rückwärts treibt, einer Art Recul, die hier die Zurückströmung genannt werden mag.

In Fig. 2 bezeichne *ml* die Längenachse eines fliegendes Thieres,

a das Schultergelenk nebst dem Vorderrande eines Flügels,

ab die Mittellinie einer Schwungfeder in abwärtsgehender Bewegung,

ak die Mittellinie derselben Schwungfeder in aufwärtsgehender Bewegung,

cb und *ik* den Widerstand der Luft.

cb theilt sich in *cd*, den rechtwinkeligen Druck auf die Flügelfläche, und *db*, die Kraft, die einen Luftstrom längs der Flügelfläche führt;

ik ebenso in *ie* und *ek*.

cd und *ie*, durch *an* und *ao* dargestellt, vereinigen sich zu *am*, der bewegenden Kraft.

db und *ek*, durch *ag* und *ah* dargestellt, vereinigen sich zu *af*, der Zurückströmung.

Wenn nun ferner der Vorderrand (*a*) in abwärtsgehender Bewegung ist, folgt die Luft über der Flügelfläche nach und setzt diese Bewegung fort, nachdem *a* schon umgekehrt hat und aufwärtszugehen anfängt, und führt die Flügelfläche mit sich hinab, bis sie zur Stellung *ak* kommt, wo sie

sich nicht weiter um den Vorderrand drehen kann. Indessen hat *a*, sich ohne grossen Widerstand bewegend, eine bedeutende Geschwindigkeit erreicht und führt jetzt die Fläche *ak* gegen die Luft, die so, wie mit zweifacher Geschwindigkeit, einen plötzlichen Druck giebt, der sich als einen Stoss äussern würde, wenn nicht die Luft und die Flügel so elastisch wären. Indem nämlich die Vorderränder ein wenig gedreht und die Flügelflächen gebogen werden, vertheilt sich der Stoss auf eine längere Zeit; durch die Elasticität aber kommen denn die Flügelflächen mit vermehrter Geschwindigkeit zur entgegengesetzten Stellung zurück, sobald die Vorderränder umkehren.

Dadurch gerathen die Flügelflächen in eine Art Schwingungen um die Vorderränder; allein die Hinterränder machen doch im Ganzen kleinere Bewegungen als die Vorderränder. Die ganzen Flügelflächen, deren Mittelrichtung wagerecht ist, wirken wie der Vordersteven und der Kiel des Bootes dahin die Richtung der fortschreitenden Bewegung unverändert zu erhalten.

Das Resultat wird also, dass bei der Flügelbewegung die bewegende Kraft in einer mit der Flügelfläche gleichlaufenden Richtung vom (schwächeren) Hinterrande zum (stärkeren) Vorderrande, also bei fliegenden Thieren in der Richtung der Längenachse des Thieres geht. Die

allgemein obwaltende Voraussetzung, die z. B. von dem anerkannten französischen Zoologen Milne-Edwards, dem wir so schöne und gewöhnlich so genaue Darstellungen aus der Zoologie verdanken, in seinem Cours élémentaire de zoologie (au prog. de l'Univ. 1840) Seite 364, ausgesprochen wird: Um sich senkrecht zu heben müssen die Flügel des Vogels völlig wagerecht sein (Pour s'élever verticalement, il faut que les ailes de l'oiseau soient entièrement horizontales), ist denn irrig. Man braucht auch nur einen Sperling, der vom Boden in einen Baum oder eine Dachrinne senkrecht hinaufsteigt, genau wahrzunehmen um die Längenachse und Flügelflächen senkrecht zu sehen. Und um die Zurückströmung wahrzunehmen kann man einen Vogel z. B. eine Taube, durch ein längeres Band an den Füssen festgehalten, fliegen lassen. Ein Licht wird dann in weitem Abstande in der Richtung rückwärts vom Vogel ausgeblasen.

Der hier dargesetzten Theorie zufolge wird der Flug ebensowohl durch den Aufwärtsschlag als durch den Abwärtsschlag der Flügel gefördert, was auch dadurch bestärkt wird, dass z. B. an einer Taube die Brust zwar von den grossen Muskeln zum Abwärtsschlage bedeckt wird, die Höhlungen aber, die vom Brustbeine und dem hervortretenden Kamme gebildet werden, von starken Muskeln eingenommen werden (Fig. 7 x), wovon Sehnen,

in den Schultergelenken auf die rollenförmigen Oberenden der Oberarmknochen wirkend, die Flügel aufwärtswerfen. Die Drehung der Flügelflächen um die Vorderränder und die Zurückströmung sind von wesentlicher Bedeutung; denn, wenn eine Fläche, während sie abwärtsgeschlagen wird, steif und rechtwinkelig auf die Richtung des Schlages gehalten wird, geht der grösste Theil der angewandten Kraft ohne Gegendruck zu geben dadurch verloren, dass die Luft aus dem unter der Fläche gelegenen Raume wegen ihrer grossen Elasticität nach allen Seiten hinaus getrieben wird; bei der Flügelbewegung aber zieht die Zurückströmung Luft von vorn und von den Seiten nach sich unter und über die Flügel hinein, hebt also grösstentheils die zerstreuende Wirkung des Schlages auf, dass die Luft festere Haltung zum Widerstande habe und wesentlich nur in einer Richtung, fortfahrend rückwärts, ströme.

Um den Grundgedanken dieser Theorie zu versuchen habe ich vormals wagerechte Flügel an ein Gestell auf einem kleinen Wagen angebracht und dabei gefunden, dass ein Mann auf dem Wagen durch abwechselndes Treten auf 2 Bretter, wovon das eine die Flügel hob, das andere sie senkte, das Ganze in fortschreitende Bewegung setzen konnte.

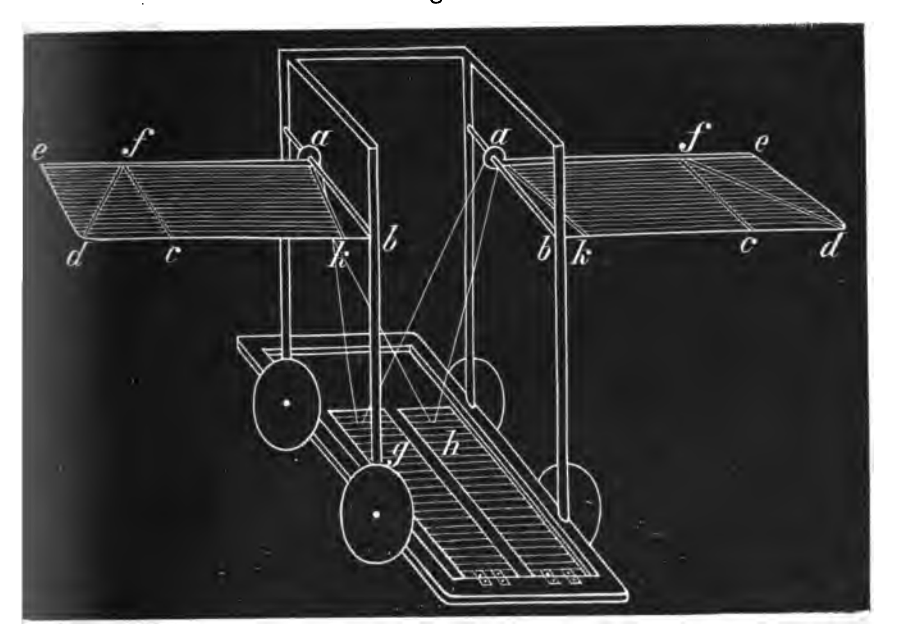
In Fig. 3 waren *a* Rollen, an die Achsen *ab* befestigt;

ae Stöcke aus Eschenholz, $4\frac{1}{2}$ Fuss lang, $\frac{1}{2}$ Zoll dick, 2 Zoll breit bei *a*, $\frac{1}{2}$ Zoll breit bei *e*;

ak, *fc* und *fd* dünnere Stöcke aus Eschenholz, 2 Fuss lang;

aedk Leinwand, mit Papir überzogen;

Fig. 3.



kb Seile, die die Flügelflächen spannten, doch aber einige Drehung derselben um die Vorderränder in *f* und *a* gestatteten.

Durch Treten auf *g* wurden die Flügel gehoben, durch *h* gesenkt.

Da um durch ein Gewicht an einem Seile, das, über eine Rolle laufend und am Wagen befestigt, in der Richtung *ba* zog, den Wagen zu bewegen, 6 ℔ erforderlich waren, war also die bewegende Kraft der Flügel ungefähr diese Grösse. Nimmt man nun an, der Reibungswiderstand am Wagen in Bewegung sei 2 ℔ kleiner als in der Ruhe gewesen, war also da eine Fallbestrebung von 2 ℔ um ungefähr 200 ℔ in Bewegung zu setzen, oder die beschleunigende Kraft von 2 ℔ wurde auf 200 ℔ vertheilt und gab also eine 100 mal kleinere Geschwindigkeit, als ob 2 ℔ frei fielen. Da die Geschwindigkeit beim freien Falle nach einer Sekunde ungefähr 30 Fuss in der Sekunde ist, nach 100 Sekunden aber 3000 Fuss, würde also die Geschwindigkeit des Wagens, wenn da Raum gewesen wäre, nach 100 Sekunden 30 Fuss in der Sekunde oder 4½ (geog.) Meilen in der Stunde geworden sein.

Wollte man also an einem leichtgehenden Karrussel auf 1 oder mehre der Reitpferde oder Gondeln solche Flügel anbringen, würde man doch durch fortgesetzte Bewegung dieser Flügel eine bedeutende Geschwindigkeit erreichen können.

Eine solche Einrichtung könnte ausser zur Belustigung und Veranschauligung auch dazu dienen die bewegende Kraft der Flügel genauer zu messen. Durch Vergleich würde man dann nach und nach die besten Materialien zu künstlichen Flügeln aus-

finden, da es schwierig ist sie auf 1 Mal so leicht, stark und elastisch als die natürlichen herzustellen.

Die Tragkraft der Flügelbewegung.

Wenn ein Sperling oder ein Staar in einer gezwungenen Stellung mit seiner Längenrichtung fast senkrecht und mit der Mittelstellung der Flügel ganz senkrecht vor seinem Neste schwebt, dann wird eben die ganze bewegende Kraft dazu gebraucht den Körper zu tragen und ist dem Gewichte des Vogels gleich. Die Vorderränder der Flügel in ihrer Mittelstellung können dann als eine etwas gebogene durch die Schultergelenke gehende Stange, woran der Körper, mit dem Schwerpunkte bedeutend nach unten, aufgehängt ist, betrachtet werden.

Bei den Abwärts- und Aufwärtsschlägen, die hier Vorwärts- und Rückwärtsschläge werden, treibt der Widerstand der Luft die Vorderränder der Flügel aufwärts und abwechseld rüchwärts und vorwärts. Um dabei das Gleichgewicht zu halten muss der Vogel den Kopf stark vorwärts strecken und wird bald dieser Stellung müde. Dieses Kunststück mögen nur wenige Vögel machen können. Noch seltener ist wohl das Kunststück der Tauben: durch

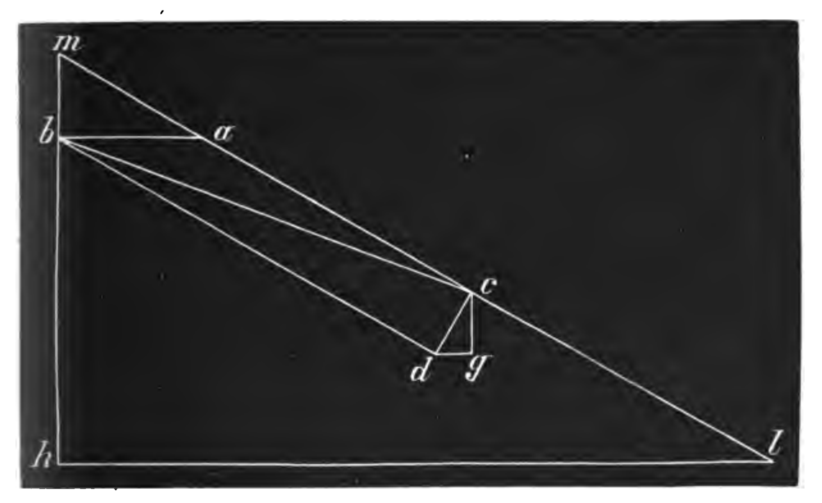
Schwingen der Flügel über dem Rücken sich schwebend über einer Stelle zu halten, wobei die Oberarme weit über ihre Mittelstellung gehalten und die Handgelenke ungewöhnlig stark gebogen werden. Wenn dagegen ein fliegendes Thier in einer ungefähr wagerechten Richtung fort will, was ja das Gewöhnliche ist, ist die Stellung des Körpers nur im ersten Augenblicke aufrechter. Sobald die bewegende Kraft zu wirken anfängt, bleibt der Schwerpunkt zurück, erst durch die Trägheit, und später, wenn der Körper grössere Geschwindigkeit erlangt hat, durch den Widerstand der Luft gegen die schräge Fläche des Körpers, wozu auch die Flügelflächen in ihrer Mittelstellung gerechnet werden müssen, und die Stellung nähert sich der wagerechten. Wenn aber die Geschwindigkeit aufhört, sinkt gleich der Schwerpunkt, warum auch die fliegenden Thiere, wenn sie damit im Begriff sind sich zu setzen, wieder eine aufrechtere Stellung einnehmen.

Wenn ein fliegendes Thier eben in wagerechter Richtung fort will, müssen die Richtung und Grösse der bewegenden Kraft so abgepasst werden, dass es durch die bewegende Kraft eben so viel steige, als es durch die Schwere sinke.

Wenn z. B. in Fig. 4 die Längenachse eines fliegenden Thieres einen Winkel von 30° mit der wagerechten Ebene macht und es in der Zeit, worin

es durch die Schwere *mh* fallen würde, durch die bewegende Kraft längs *lm* zu *m* geführt werden sollte, wird es in der That längs *lh* zu *h* geführt. Die bewegende Kraft muss dann dem zweifachen Gewichte des Thieres gleich sein. Dies erreicht z. B. eine Taube durch ungefähr 7 Abwärtsschläge (oder 14 Flügelschläge) in der Se-

Fig. 4.



kunde, was man noch einigermaassen zählen kann. Grössere Vögel gebrauchen wegen der Länge der Flügel und der daraus folgenden grösseren Geschwindigkeit der vom Körper entfernteren Theile derselben weniger Flügelschläge in der Sekunde, kleinere mehr. Der tiefe Ton, den z. B. die Hummeln

bei ihrem Fluge hören lassen, mag gerade aus von den Schwingungen, worein die Luft durch die Flügelschläge versetzt werde, herrühren. Da der tiefste hörbare Ton von ungefähr 16 Schwingungen (hin und her) in der Sekunde herrührt, muss denn bei diesen Insekten die Zahl der Abwärtsschläge in der Sekunde 16 übersteigen.

Wenn durch den Flug grössere Geschwindigkeit erreicht ist, ändert sich etwas das Verhältniss durch den Widerstand der Luft gegen die schräge Fläche des ganzen Körpers. Wenn in Fig. 4 dieser Widerstand durch *ba*, oder in Verbindung mit der Zurückströmung *ac*, durch *bc* dargestellt wird: wird der rechwinkelige Druck auf die schräge Unterfläche des Körpers durch *dc* dargestellt; dieser theilt sich wieder in *gc*, der die Schwere, und *dg*, der die beschleunigende Kraft der fortschreitenden Bewegung vermindert. Da bei einer solchen schrägen Stellung, die nicht sehr von der wagerechten abweicht, *gc* grösser als *gd* ist, wird also durch den Widerstand der Luft der Fall mehr als die fortschreitende Bewegung vermindert.

Nach dieser Theorie lässt sich die Kraft, die ein fliegendes Thier um sich in die Luft zu heben entwickeln muss, annäherend (oder nach Umständen genauer) berechnen, da es seinen Flügeln eine solche Geschwindigkeit geben muss, dass der Theil des Gegendruckes der Luft, der als

bewegende Kraft zum Nutzen komme, seinem Gewichte gleich sei.

Der Druck der Luft mag bei einer Geschwindigkeit von 1 Fuss in der Sekunde zu $\frac{1}{500}$ ℔ pr. Quadratfuss gerechnet werden, und mit dem Quadrate der Geschwindigkeit wachsen.

Das Gewicht einer Taube z. B. ist etwa $\frac{1}{2}$ ℔, ihre Flügel $10\frac{1}{2}$ Zoll lang, $4\frac{1}{2}$ Zoll breit, mithin das gesammte Flächenmaass der Flügel ungefähr $\frac{2}{3}$ Quadratfuss. Weil aber der Gegendruck der Luft nicht überall mit gleicher Geschwindigkeit wirkt, muss für diesen Druck ein Mittelpunkt gesucht und der Abstand desselben vom Ruhepunkte im Schultergelenke bestimmt werden. Wenn der Flügel von egaler Breite wäre, würde dieser Abstand $\frac{3}{4}$ der Flügellänge sein; weil aber der Flügel an der Mitte am breitesten ist, kann kaum viel mehr als 7 Zoll gerechnet werden. Wenn nun in der Sekunde 5 Abwärtsschläge in vollem Halbkreise gemacht werden, durchläuft der Mittelpunkt des Gegendruckes bei jedem Abwärtsschlage 22 Zoll, also in der Sekunde (die Aufwärtsschläge mitgerechnet) 220 Zoll oder reichlich 18 Fuss, und wegen der Verdoppelung der Geschwindigkeit bei den wiederholten Umkehrungen der Flügel, wirkt dann die Luft mit einer Geschwindigkeit von 36 Fuss in der Sekunde, und würde, wenn die Flächen steif und rechtwinkelig auf die Richtungen der Schläge gehalten würden, einen Druck

von $\frac{1296}{500}$ ℔ pr. Quadratfuss oder $\frac{864}{500}$ ℔ auf $\frac{2}{3}$ Quadratfuss ausüben; weil aber die Flügelflächen nachgeben und bei jedem Schlage schräge liegen, kommt nur um $\frac{3}{8}$ davon als bewegende Kraft zum Nutzen, was reichlich $\frac{1}{2}$ ℔ macht.

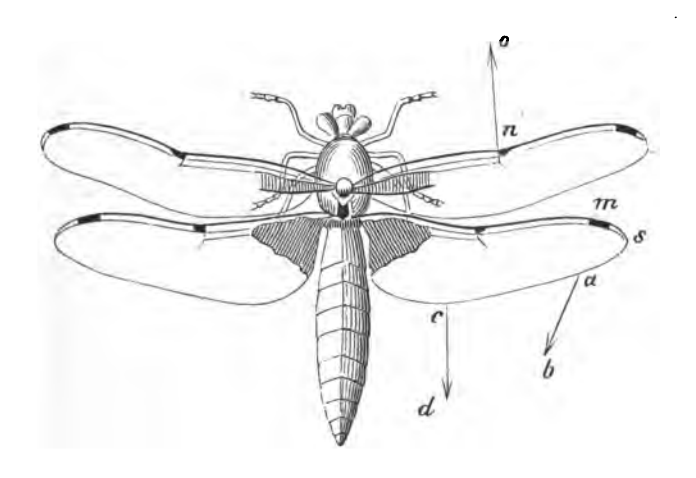
Wenn nun auch die Drehung der Flügelflächen bei heftigem Fluge die angenommene Grösse von 35° etwas übersteigen möchte, wird sie doch kaum 45° zu jeder Seite übersteigen, wobei der Widerstand gegen die Bewegung der Flügel (*cd* Fig. 1 entsprechend) eben der bewegenden Kraft (*ac* Fig. 1 entsprechend) gleich sein wird. Also kann man rechnen, dass in der Sekunde wenigstens $\frac{1}{2}$ ℔ fortwährend 18 Fuss (oder 9 ℔ 1 Fuss) gehoben werden muss.

Rechnet man nun dass 1 Pferdekraft 540 ℔ 1 Fuss (engl.) in 1 Sekunde hebe, macht also die Kraft, die eine Taube entwickeln muss um sich in die Luft zu heben, wenigstens $\frac{1}{60}$ Pferdekraft. Ein Lämmergeier, der 15 ℔ wiegt, und dessen Flügel 4 Fuss lang sind, braucht denn wenigstens $\frac{1}{2}$ Pferdekraft. Oder 1 Pferdekraft hebt bei Flügelbewegung in der Luft höchstens 30 ℔.

Der Flug des Insekten.

Als Beispiel mag eine Wasserjungfer (libellula depressa Fig. 5, natürliche Grösse), zum Jagen anderer Insekten ausgebildet, genommen werden. Alle Adern (Luftröhren) der Flügel sind denn sehr fein. Doch sind die 3 vordersten etwas stärker, und davon wieder

Fig. 5.



die vorderste die stärkste. Diese 3 (oder 2) Adern sind an 2 Stellen (*n* und *m*) durch Bänder aus einer hornartigen Substanz verbunden. Eine ähnliche Substanz breitet sich an der Brust über die Flügelfläche so aus, dass sie dieselbe stärke ohne ihre Schwin-

gungen zu hindern. Die Flügelfläche und der Hinterrand sind ausserordentlich fein, doch aber von vielen Quer und Längsadern und an der Spitze von dem steiferen Vorderrande, dessen Stärke von dem äusseren Querbande ab bis zur Spitze sanft abnimmt, gestärkt. So wird der mittlere Theil (*ca*) der Flügelfläche, die eben und also rücksichtlich der Abwärts- und Aufwärtsschläge gleichartig ist, am beweglichsten, was auch durch blosses Anhauchen sich zeigt. Die Flügelfläche muss denn bei jedem Flügelschlage nach der entgegengesetzten Seite etwas hohl werden, wodurch die Zurückströmung (*ab* und *cd*) gesammelter wird, was noch mehr dadurch erreicht wird, dass das hintere Flügelpaar in der Zurückströmung des vorderen wirkt, wie wenn Vögel derselben Art einander in geschwindem Fluge verfolgen.

Die Flügel sind in den Gelenken an der Brust auf mehre Weisen beweglich, dass sie theils rückwärts oder vorwärts gerichtet theils auf die Weise, dass die Hinterränder in der Mittelstellung höher oder niedriger stehen, gedreht werden können, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man den Hinterleib festhält, da denn das Insekt um los zu werden mehre Stellungen der Flügel versucht. Dadurch kann das Insekt seinen Flug steuern, weil immer die bewegende Kraft (*no*) in einer Richtung geht, die, von der Mittelstellung des Hinter-

randes laufend, mit dem Vorderrande einen rechten Winkel macht.

Das ganze Insekt wiegt ungefähr $\frac{1}{2500}$ ℔.

Die Flügel sind $1\frac{1}{2}$ Zoll lang, $\frac{1}{3}$ Zoll breit, mithin das Flächenmaass aller 4 Flügel 2 Quadratzoll. Also 1250 Wasserjungfern, die $\frac{1}{2}$ ℔ wiegen, haben ein Flächenmaas der Flügel um 2500 Quadratzoll; eine Taube aber, die auch $\frac{1}{2}$ ℔ wiegt, hat kaum 100 Quadratzoll. Wenn das Flächenmaas der Flügel 25 mal grösser, ist eine 5 mal kleinere Geschwindigkeit der Flügel erforderlich um den Körper in die Luft zu heben. Weil aber die Flügel der Wasserjungfern ungefähr von egaler Breite sind, und der Mittelpunkt des Druckes der Luft desswegen fast um $\frac{3}{4}$ der Flügellänge vom Leibe hinausgesetzt werden muss, ist auch die Flügellänge der Wasserjungfer ungefähr als $\frac{1}{5}$ der Flügellänge der Taube zu rechnen, und ungefähr dieselbe Zahl der Flügelschläge (5 Abwärtsschläge) in der Sekunde werden den Körper heben.

Wenn dagegen, während das Insekt in der Luft schwebt, die Flügel in wagerechter Stellung unbeweglich gehalten werden, dienen sie als Fallschirme. Da das Flächenmaass derselben $\frac{1}{72}$ Quadratfuss, und der Widerstand der Luft bei einer Geschwindigkeit von 1 Fuss in der Sekunde $\frac{1}{500}$ ℔ pr. Quadratfuss ist, macht der Widerstand der Luft bei dieser Ge-

schwindigkeit $\frac{1}{36000}$ ℔, ist also bei einer Geschwindigkeit von weniger als 4 Fuss in der Sekunde dem Gewichte des Insektes gleich, und die Geschwindigkeit des Falles wächst nicht mehr. Da der Widerstand der Luft gegen jeden Flügel wirkt, als ob er in der Mitte dieses Flügels gesammelt wäre, hat also das Insekt durch Rückwärts- oder Vorwärtsstellen der Flügel ein Mittel das Gleichgewicht zu halten.

Aehnliche Flügel haben die Termiten und Ameisenlöwen.

Bei Fliegen und Mücken haben die Flügel auch eine ähnliche Form und Beweglichkeit in den Gelenken an der Brust; weil aber nur ein Paar Flügel, zudem verhältnissmässig kürzer, da sind, ist eine grössere Zahl der Flügelschläge in der Sekunde erforderlich. Da mehre Arten während des Fluges, und eben nur während des Fluges, Laut geben, ist die Zahl der Abwärtsschläge in der Sekunde wahrscheinlich oft grösser als 16. Das Summen der Mücken entspricht wohl ungefähr dieser Zahl. Bei einigen Arten der Fliegen ist der schwingende Theil an der Mitte des Flügels etwas breiter. Weil dieser Theil denn mehr Zeit und Platz zum Umkehren gebraucht, wird die Beweglichkeit der Flügel in den Gelenken an der Brust beschränkter.

Bei den Bienen liegt die bewegende Kraft wesentlich in dem vorderen Paare längeren Flügeln. Das hintere Paar kürzere Flügel, die daran gehäkelt sind, und so den Schwingungen der Hinterränder derselben folgen müssen, machen eine Art Fallschirmfläche, die die Zurückströmung genauer in entgegengesetzter Richtung der fortschreitenden Bewegung leite und so diese Bewegung dauerhafter mache. Dadurch aber geht alle Beweglichkeit in den Gelenken an der Brust verloren ausser derjenigen, wodurch die Flügel vorwärts und rückwärts gestellt und auch auf den Hinterleib hin gelegt werden, und derjenigen, wodurch die Flügel auf und ab bewegt werden. Man sieht auch an einem Bienenkorbe, wenn die Bienen auf dem Flugbrette hervorkommen, dass sie den Hinterleib senken um aufzufliegen, darnach fast augenblicklich durch den Widerstand der Luft gegen den breiten haarigen Hinterleib eine schräge Stellung einnehmen und geraden Weges zu ihrer Arbeit forteilen.

Aehnliche Flügel haben die Wespen und Ameisen und wohl auch die Eintagsfliegen, Cicaden und mehre.

Bei den Schmetterlingen haben die Flügel auch eine ähnliche Einrichtung wie bei den Bienen; weil aber die Vorderflügel, besonders bei den Tagfaltern, so breit sind, können sie nicht so viele Schläge in der Sekunde machen, warum auch die bewegende Kraft ihr Gewicht nicht viel übersteigen kann, und

die Stellung des Körpers bleibt im Fluge aufrechter. Dadurch wird der Widerstand der Luft gegen die fortschreitende Bewegung verhältnissmässig sehr gross, und die Geschwindigkeit dieser Bewegung wird kaum 6 à 8 Fuss in der Sekunde übersteigen. Dadurch werden sie denn *sehr vom Winde abhängig.*

Der Flug der Fledermäuse.

Bei den Fledermäusen (Fig. 6) sind am Vorderrande des Flügels der Oberarm (*ab*), der Unterarm (*b*—1), und der dritte Finger, vom zweiten Finger gestützt.

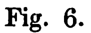


Fig. 6.



Wenn die Fledermaus in wagerechter Richtung fliegt, schwingen der 4te und 5te Finger auf und ab und werden durch den Fuss (*c*) gehalten, dass sie nicht zu weit gehen. Diese Finger halten wieder die dünne, weiche, sehr elastische Flughaut, dass sie durch die bewegende Kraft, die in der Richtung (5—1) geht, nicht gekräuselt werde. Wenn die Fledermaus fliegen will, zieht sie die Arme stark vorwärts, dass die Unterarme fast gleichlaufend mit der Längenrichtung des Körpers werden, wie in Fig. 6. Indem zugleich die Füsse die Flughaut festhalten, wird so die Form der Flügel und die Stellung derselben gegen den Leib gezwungen, und der Flug einförmig.

Eine kleinere Fledermaus wiegt $\frac{1}{2}$ Loth, und hat Flügel, die ungefähr 4 Zoll lang, $1\frac{1}{2}$ Zoll breit sind. Das Flächenmaas der Flügel von 32 Fledermäusen, die das Gewicht einer Taube haben, ist also $2\frac{2}{3}$ Quadratfuss oder 4 mal das einer Taube. Um sich in die Luft zu heben braucht also die Fledermaus im Vergleich mit der Taube nur die halbe Geschwindigkeit der Flügel. Weil aber die Flügel kaum halb so lang sind, werden wohl ungefähr 6 Abwärtsschläge in der Sekunde erforderlich sein.

Der Flug der Vögel.

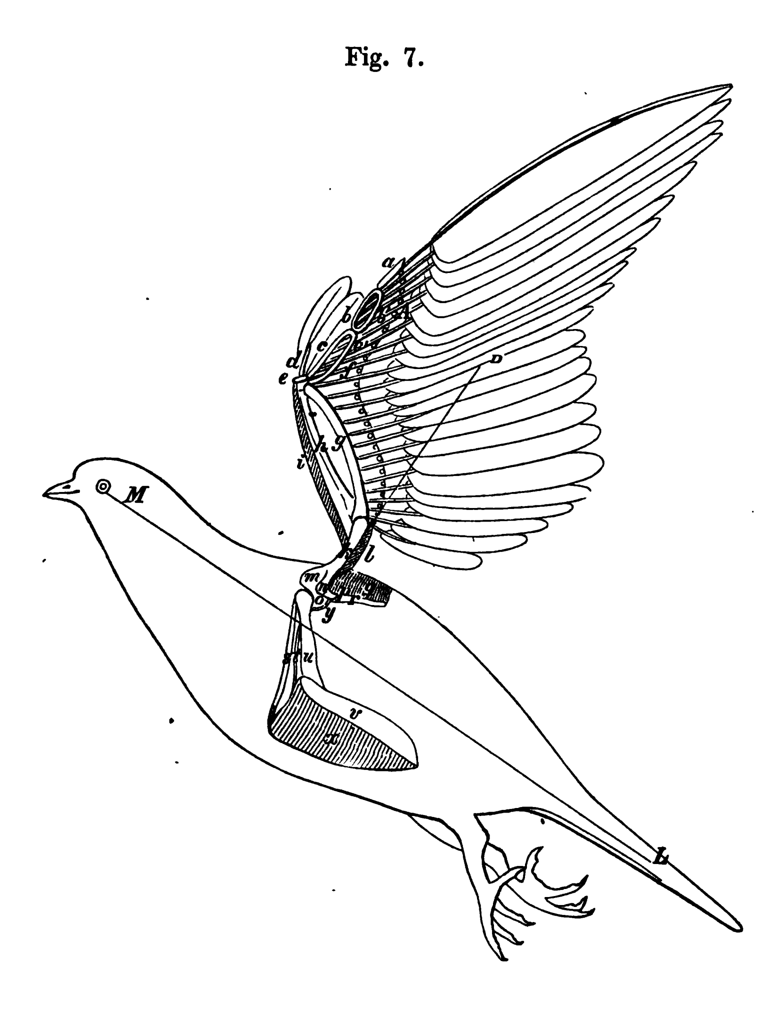
Die Flügel der Vögel haben den grossen Vorzug, dass sie während des Fluges nicht allein ihre Stellung gegen den Leib, sondern auch ihre Form verändern können, dass sie entweder der fortschreitenden Bewegung dienen, indem sich die Flügelflächen um die Vorderränder drehen, oder, zum Theil in Verbindung mit dem Schwanze, der in wagerechter Richtung willkührlich ausgebreitet werden kann, als Fallschirm dienen, indem sie steif gehalten werden.

An mehren Vögeln, z. B. Staaren, sieht man, wenn sie ihren Flug einhalten, die ausgebreiteten Flügel mit dem ausgebreiteten Schwanze als eine schöne Fläche, die etwas über einen Halbkreis macht, indem die Flügelspitzen seitwärts und vorwärts gerichtet sind; wogegen während des geschwinden Fluges die Flügelspitzen etwas rückwärtsgebogen und der Schwanz zusammengedrängt ist, der Flug aber bloss durch Hervorstrecken eines Flügels oder Zurückziehen des andern (am Elbogen) gesteuert wird, indem dadurch die Richtung der bewegenden Kraft für den einen Flügel sich ändert.

In Fig. 7 sind die für den Flug wesentlichen Theile einer Taube in $\frac{1}{3}$ Längenmaasse dargestellt. Gewicht $\frac{1}{2}$ ℔. Längenachse *ML*. Linker Flügel,

von innen gesehen, wiegt $1\frac{1}{4}$ Loth. Deckfedern und Dunen sind weggenommen. Ebenso der ganze Flugmuskel zum Abwärtsschlage, damit die merk-

Fig. 7.



würdige Lage des Flugmuskels zum Aufwärtsschlage sichtbar werde.

Die Flügelspitzen, die beim Abwärtsschläge unten kommen, werden (den Benennungen: Oberarm und Unterarm, entsprechend) die untersten Theile genannt.

a der untere Fingerknochen, womit verbunden der Kiel der äussersten Schwungfeder, deren Schaft bis gegen die Spitze sichtbar, wogegen die Schäfte der übrigen Schwungfedern von den breiten Fahnen der vorhergehenden gedeckt sind.

bb' oberer Fingerknochen, besteht aus 2 Theilen, *b* und *b'*, an den Enden zusammengewachsen, trägt 4 Schwungfedern, die in dieser Stellung des Flügels hinter *b'* gehen und an *b* stossen.

cc' Mittelhand, trägt auf dieselbe Weise 5 Schwungfedern.

d Daumen, trägt ein Paar kleine Federn.

e Vorsprung der Mittelhand, an dessen Spitze der Streckmuskel der Hand befestigt ist. Dieser wirkt anziehend auf *e* wie auf den kurzen Arm eines Winkelhebels, dessen langer Arm die Hand, Ruhepunkt das Unterende der Elle (*g*).

f Flughaut, ungefähr ½ Zoll breit, von der Fingerspitze bis zum Elbogen laufend, umschliesst die Kiele aller Schwungfedern. Wird die Hand gestreckt, wird auch die Flughaut gespannt,

und dadurch werden alle Schwungfedern aus einander gesperrt, am wenigsten die 5 des Fingers, weil sie fast gleichlaufend mit den Fingerknochen liegen und desshalb näher zusammenbleiben und den steifen Vorderrand fortsetzen.

A Eingänge zu Hautsäcken für die Reihe der grössten Deckfedern, wovon mehre den Flügel steifer und von der Luft undurchdringlicher machen.

g Elle, deren Unterende Ruhepunkt der Hand und deren Oberende an einen znsammengedrückthalbkugelförmigen Vorsprung des Oberarms befestigt ist. Un diesen herum dreht sich der Flügel, wenn er während des Fluges zurückgezogen wird um zu steuern, und wenn er gefaltet wird.

Hinter *g* sitzen 14 Schwungfedern die gegen den Elbogen an Grösse abnehmen. Diese Schwungfedern stossen mit den Enden der Kiele an *g* auf die Weise, dass sie, wenn z. B. die Längenachse und Flügel wagerecht liegen, nicht ohne Gewalt höher als wagerecht kommen können, mit Leichtigkeit aber abwärtsgebogen werden.

h Speiche, deren Unterende, mit *g* durch starke Sehnenbänder verbunden, den Vorsprung *e* daran hindert zu weit zu gehen, und deren Oberende

um einen zweiten zusammengedrückt-halbkugelförmigen Vorsprung des Oberarms (in der Figur hinter demjenigen zu *g*) sich ebenfalls, dicht anschliessend, drehen kann.

Der Unterarm hat so am Elbogen eine sichere Drehung nach vorn oder nach hinten, und da wird denn der Flug gesteuert. Rücksichtlich der Flügelschläge aber bilden die 2 Knochen *g* und *h* mit dem breiten Unterende des Oberarms ein festes Dreieck, bis der Widerstand der Luft, der sehr vortheilhaft auf die Spitzen der Schwungfedern der Hand wirkt, das Unterende der Speiche um das Unterende der Elle bis zu einer gewissen Grenze dreht, welche Grenze nicht überschritten werden kann, weil die Knochen sich überquer zu legen anfangen und grosse Spannkraft erhalten.

Zwischen *g* und *h* liegen mehre Muskeln, deren Sehnen zu den einzelnen Knochen der Hand hinauslaufen, auf der Hinterseite um zu biegen, auf der Vorderseite um zu strecken, schräge um zu drehen, bei einigen Vögeln, wie den Sperlingen, sehr wirksam.

i Streckmuskel der Hand, der vom Oberarm nahe am Unterende ausgeht, und dessen Sehne in einer Furche der Speiche der Länge nach bis zur Spitze von *e* geleitet wird.

k Oberarm.

l Muskel, der von *k* ausgehend, durch eine Sehne an einen kleinen Vorsprung der Elle befestigt, den Unterarm streckt, um während des Fluges den Flügel rückwärts zu richten.

m grosser Vorsprung von *k* zur Anheftung des Flugmuskels zum Abwärtsschlage, dessen anderes Ende über den ganzen Oberrand des Brustbeins, den ganzen Unterrand des Kammes und die ganze Hinterfläche des Schlüsselbeines ausgebreitet ist und $1\frac{3}{4}$ Loth wiegt.

n grosser Vorsprung von *k*, wovon Muskeln zur Elle und Speiche nahe am Elbogen um den Unteram zu biegen und so die Flügel während des Fluges vorwärts zu richten.

o halbkugelförmiger Vorsprung von *h*, von vorn und hinten zusammengedrückt. Eine Linie durch diesen Vorsprung, ungefähr mit der Längeaxe *ML* gleichlaufend, macht die Umdrehungsachse der Flügels in *o*.

Da *m* vor dieser Achse liegt, wird eine Zusammenziehung des Flugmuskels zum Abwärtschlage von selbst den Oberarm in die Richtung *oD* hinausrichten. Weil aber der Muskel sich über *n* und die daran befestigten Muskelenden hin ausbreitet, und *n* als ein Hebel quer auf *k* bedeutend hervorspringt, wird die gesammelte Wirkung dieses Muskels den Flügel mit bedeutender Kraft um diese Achse ziehen.

Der Oberarm bewegt sich denn immer in einer Ebene, die mit dieser Achse in *o* einen rechten Winkel macht, und die man seine Bahn nennen könnte. Wenn z. B. die Taube ihre Flügel über dem Rücken schwingt, wird der Oberarm im oberen Theile seiner Bahn gehalten; wenn aber die Taube in grosser Eile wie hinwegstürzt, und die Flügel unten zusammenschlagen, wird der Oberarm etwas überwiegend in dem unteren Theile seiner Bahn gehalten, und der Anfang des Aufwärtsschlages wirkt auf den Körper unmittelbar hebend.

p Vorsprung von *k* (Fortsetzung von *n*), wovon 2 Sehnen sich kreuzend ausgehen: die eine von der Aussenseite (Rückseite der Figur) zu einem Muskel am Hinterande des Rabenschnabelbeines (*u*) um die Achse in *o* und damit die Flügelfläche so zu stellen, das der Hinterrand in der Mittelstellung etwas niedriger stehe (und der Oberarm in der Fig. etwas hinter *oD* rücke); die andere von der Innenseite zu einem Muskel auf dem Vorderrande des Brustbeins innerhalb *u*'s um entgegengesetzt zu wirken.

q Muskeln, die die Dornfortsätze der Rückenwirbel mit *r* verbinden.

r Schulterblatt, von einem Muskel bedeckt, dessen anderes Ende ein wenig unter *p* sich an *k* befestigt um den Oberarm zurückzuziehen, wenn der Flügel gefaltet werden soll.

s Schlüsselbein mit demjenigen von der rechten Seite zu 1 V-förmigen Knochen, dem sogenannten Gabelbeine, zusammengewachsen. Die Mitte dieser Gabelbeines ist an die Spitze des Brustkammes, die freien Enden desselben an jedes sein Oberende von *u* durch starke Sehnenbänder befestigt. So werden die Oberenden der Rabenschnabelbeine aus einander gehalten, und davon gehen wieder breite Sehnenbänder zu *m* hinauf, um die Oberenden der Oberarme an ihren Ruhepunkten zu halten.

An die innere Oberfläche des Gabelbeins befestigt sich eine Haut, die zu jeder Seite zwischen Gabelbein, Rabenschnabelbein und Vorderrand des Brustkammes eine dreieckige Fläche bildet. Zwischen diesen 2 dreieckigen Flächen liegen denn Kropf, Luftröhre, Wirbelsäule etc.

t eine lange und starke Sehne, die von einem Vorsprunge von *k*, *n* entgegengesetzt (in der Fig. hinter *n*), innerhalb der oberen Hälfte von *u*, zu *x* hinunterläuft.

u Rabenschnabelbein, dessen Oberende sich bedeutend nach Aussen und Vorne neigt, mit *r*, das innerhalb *o*'s dazu hinläuft, zusammengewachsen, unten durch ein langes schräges Gelenk mit dem Brustbeine verbunden. Dieses Gelenk gestattet nur einstweilig, dass das Oberende von *u* einwärts und rückwärts ge-

zogen werde, wonach es wieder vom Gabelbein hinausgespannt wird.

v ein Theil des Brustbeines, durch Rippen mit der Wirbelsäule fest verbunden.

x der Flugmuskel zum Aufwärtsschlage, füllt beinahe den länglichen Raum zwischen Brustkamm und Brustbein aus, und ist an die Wände dieser Knochentheile befestigt. Ausserdem ist ein Theil desselben (in der Fig. weggenommen) an die untere Hälfte der Aussenseite von *u* befestigt. Alle seine Fibern festigen sich an *t*, die in günstiger Richtung innerhalb des Ruhepunktes in *o* hinaufläuft und auf den dem *n* entgegengesetzten Vorsprunge wie auf eine Rolle wirkt. Der ganze Muskel wiegt $\frac{1}{4}$ Loth und hat also wohl ungefähr $\frac{1}{7}$ der Kraft des Flugmuskels zum Abwärtschlage.

y rinnenförmiger Vorsprung von *u* und *r*, worin *o* sich dreht.

Zwischen *y* und *o* liegt ein starkes Sehnenband, dessen eines Ende an *u* befestigt ist, und dessen anderes Ende sich verzweigt und an 2 Stellen der hinteren flachen Seite von *o* sich befestigt, und so den Oberarm daran hindert rücksichtlich des Leibes weiter vorwärts als zur Stellung *oD* zu gehen.

Also, sobald die Brustmuskeln zu wirken anfangen, breiten sich die Flügel, so zu sagen, von

selbst aus, die Umdrehungsachsen in *o* werden festgehalten und durch die Muskeln zu *p* genau gestellt, die Form und Steifheit der Flügelflächen und ihre Stellung zum Leibe wird willkührlich bestimmt, und die Flügelflächen drehen sich durch den Widerstand der Luft mehr oder weniger im Handgelenke.

Da alle fliegenden Vögel im Wesentlichen wie die Taube gebaut sind, sind sie dadurch im Stande auf mehre Weisen zu fliegen, worunter doch die 3 folgenden die wichtichsten sein möchten.

1. Der schwebende Flug der Vögel. Die eigenthümliche Stellung der Schwungfedern am Unterarme befähigt die Vögel zu einer eigenen Flugweise, die sie zum langsamen Schweben, Flattern, Hinauf- und Herabsteigen gebrauchen, und die man den schwebenden Flug nennen möge. Dabei ist die Hand im Handgelenke gestreckt, der Unterarm in der Regel auch im Elbogen gestreckt, der Schwanz gewöhnlich gesperrt. Der Flügel ist dann verhältnissmässig steif, indem die gespannte Sehne des Muskels *i* die Speiche *h* festhält; die Flughaut ist gespannt und die Schwungfedern gesperrt und eben dadurch am Unterarm abwärts leichtbeweglich. Dadurch wird der Aufwärtsschlag erleichtert, die Zurückströmung mehr nach unter gerichtet (in Fig. 2 denke man sich *ak* um *a* nach unten gedreht); beim Abwärtsschlage aber wird die

Richtung der Flügelfläche von der Längenrichtung des Vogels nur wenig abweichen, und die Zurückströmung wird verhältnissmässig klein und weniger nach oben gerichtet (in Fig. 2 denke man sich *ab* um *a* nach unten gedreht). Dadurch wird im Ganzen die Zurückströmung etwas nach unten und die bewegende Kraft ebensoviel nach oben gerichtet.

So wird denn diese Flugweise sich der von Milne-Edwards gegebenen Darstellung etwas annähern.

2. Der fortstrebende Flug der Vögel mit dem Handgelenke in stumpfem Vinkel gebogen (ungefähr wie in Fig. 7, bei Möwen und anderen langflügeligen Vögeln augenscheinlich), dem Elbogen in der Regel ebenfalls gebogen, dem Schwanze gewöhnlich gedrängt, ist der reguläre Flug, demjenigen der Insekten und Fledermäuse ähnlich. Dabei ist der Flügel weniger steif, die Schwungfedern aber gedrängter, wesshalb die Schwungfedern des Unterarms, wie Dachziegel liegend, nicht ausser Begleitung der Handfedern sich abwärts biegen können.

Weil bei dieser Flugweise der Vogel bald grosse Geschwindigkeit erreicht, wird auch bald der Widerstand der Luft gegen die schräge Unterfläche bedeutend und erleichtert den Aufwärtsschlag, wesshalb auch bei dieser Flugweise der Flugmuskel zum

Abwärtsschlage die grösste Arbeit behält. Denkt man sich nämlich in Fig. 4 den Vorderrand des Flügels in *a* in aufwärtsgehender Bewegung, wird in dem Augenblicke, wenn die Flügelfläche umgekehrt hat, und die eigentliche Kraftanwendung gemacht werden soll, dieselbe mit *ba* fast einen rechten Winkel machen und davon einen bedeutenden helfenden Druck empfangen, wogegen beim Abwärtsschlage in dem entsprechenden Augenblicke die Flügelfläche ungefähr die Richtung *ba* haben und so eben den kleinsten Widerstand gegen die fortschreitende Bewegung erleiden wird.

Zwischen diesen 2 Flugweisen sind natürlicherweise vielfältige Uebergänge. Einige Vögel, wie Bachstelzen, machen bei einer Flugweise, die wesentlich fortstrebend ist, verhältnissmässig stärkere Abwärtsschläge, und beschreiben eine Linie, die sich auf- und abwärts schlängelt. Andere, als Sperlinge, können bei einer Flugweise, die wesentlich die schwebende ist, mit gesperrten, zum Theil einzelnweise schwingenden, Schwungfedern dahineilen.

3. Der segelnde Flug der Vögel. Wenn ein Vogel eine bedeutende Geschwindigkeit (um 30 Fuss in der Sekunde) erreicht hat und danach seine Flügel und Schwanz wie bei dem schwebenden Fluge ausbreitet, dienen dieselben als schräge liegende Fallschirme, und er kann eine Weile ohne bedeutend zu sinken dahinsegeln, indem der Wider-

stand der Luft gegen die schräge Unterfläche des ganzen Körpers in entgegengesetzter Richtung der fortschreitenden Bewegung, wie der Wind gegen einen Drachen, wirkt.

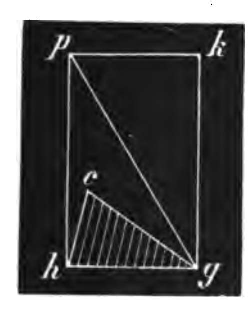
Tauben, die wie zur Motion hinausfliegen, und, wenn sie grössere Geschwindigkeit erreicht haben, wie zur Lust segeln, setzen dabei nicht selten die Flügelflächen schräge in die Höhe, und sinken dabei ziemlich rasch, wogegen grössere Vögel, wie Störche und Raben, dauerhafter segeln.

Ein segelnder Vogel hält seinen Flug durch Biegen der Elbogen auf. Dadurch werden nämlich die Flügel vorwärts geführt, der Schwerpunkt sinkt, die Flügelflächen werden schräger und der Widerstand der Luft wird grösser; weil aber ein solcher Widerstand zum Theil aufwärts wirkt, kann eine plötzliche Biegung der Elbogen doch das Ende einer wagerechten Bahn steigend machen, wie man an quecken Vögeln, wie Sperlingen und Staaren, wenn sie gegen ihre Nester segeln, nicht selten sieht.

Will ein segelnder Vögel dagegen zur Seite (z. B. der linken) schwingen, muss der Schwerpunkt rücksichtlich des Ruhepunktes, der für den Widerstand der Luft die Mitte der ganzen Unterfläche ist, auf andere Weise versetzt werden, und dazu mögen die Rückenmuskeln *q* gebraucht werden. Werden diese Muskeln z. B. an der linken Seite verkürzt, wird das linke Schultergelenk und damit der

linke Flügel rechts und rückwärts gezogen. Dadurch kommt der Ruhepunkt nach der rechten, oder der Schwerpunkt nach der linken Seite, und die linke Seite des Körpers sinkt. Der Theil des Gegendruckes der Luft, der die Schwere verkleinert (*gc* Fig. 4), wird dann eine schräge Linie, die gegen einen Punkt oben und links gerichtet ist, und wovon ein Theil in wagerechter Richtung wirkt, und, mit der fortschreitenden Bewegung verbunden, eine Kreisbewegung hervorbringt.

Fig. 8.



Denkt man sich in Fig. 8 die Fläche *gkph* wagerecht, die Fläche *gch* senkrecht, ist:

gc die Kraft, die nach oben und links gerichtet ist,
gh der wagerechte Theil von *gc*,
gk die fortschreitende Bewegung,
gp der Anfang der kreisförmigen Bahn.

Solche Schwingungen machen z. B. Schwalben, die um wandelnde Menschen und Thiere schweben, Raben und Krähen, die sich auf einen Baum setzen, Störche, die die höhere Luft erreicht haben.

Während des Segelns braucht der Vogel denn keine bewegende Kraft, sondern benutzt das Moment der fortschreitenden Bewegung. Weil aber dieses dadurch verkleinert wird, muss es von Zeit zu

Zeit durch neue Flügelschläge vermehrt werden; oder der Vogel braucht kürzere Flügelschläge, dass das Moment und damit die Geschwindigkeit ebensoviel durch die Flügelschläge vermehrt als durch den Widerstand der Luft verkleinert werde. Dazu ist dann im Ganzen weniger bewegende Kraft als zum Hinauffliegen erforderlich.

Wenn z. B. eine Taube durch eine bewegende Kraft, die ihr Gewicht übersteigt, sich hebt, und danach ihre Längenachse eine Richtung wie in Fig. 4 (30° über der wagerechten) annimmt, ist die beschleunigende Kraft der fortschreitenden Bewegung grösser als die des freien Falles, und sie wird in weniger als 1 Sekunde eine Geschwindigkeit von gegen 30 Fuss in der Sekunde erreichen. Setzt man nun die ganze Unterfläche 1 Quadratfuss gleich, würde der Widerstand der Luft gegen diese Fläche, wenn sie rechtwinkelig auf die Richtung der Bewegung wäre, $\frac{30 \text{ mal } 30}{500}$ ℔ oder $\frac{9}{5}$ ℔ sein; weil sie aber schräge liegt, kan nicht mehr als $\frac{1}{4}$ davon gerechnet werden, was beinahe das Gewicht der Taube ist.

Sie wird denn in Ganzen 3 Kräften ausgesetzt, welche einander entgegenwirken, und welche alle als Gewichte gedacht und als Linien dargestellt werden können, wie in Fig. 9 (die durch Anschauung oder Berechnung zur Beantwortung vieler Fragen wegen des Fluges möchte angewandt werden können):

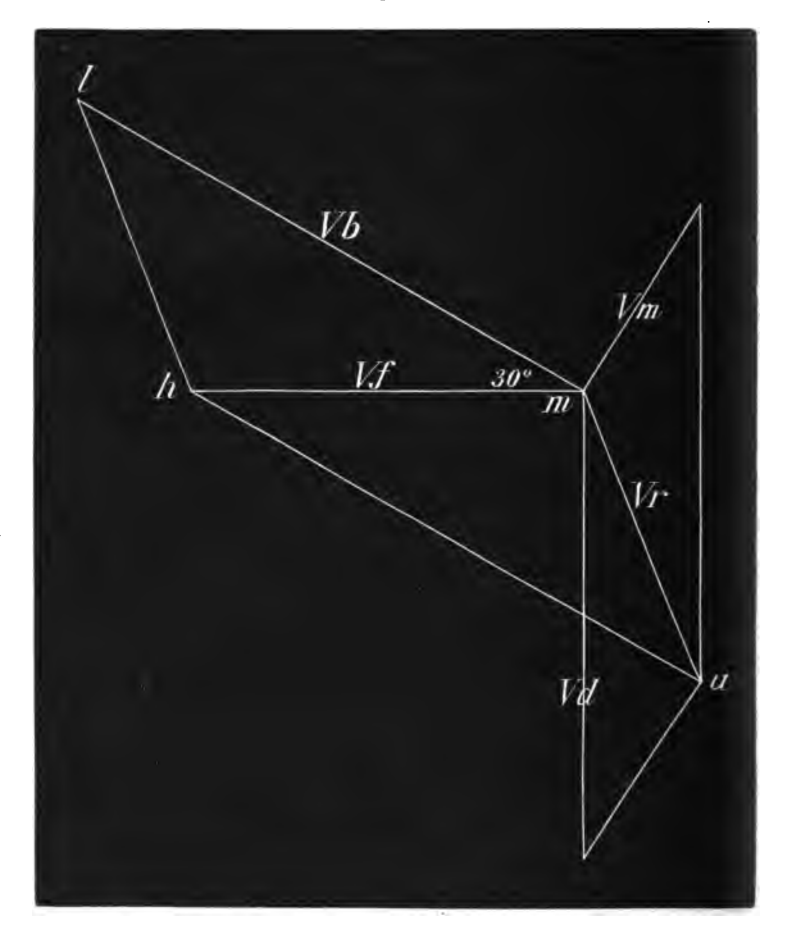
1) Das Gewicht der Taube, *Vd*, wie im Schwerpunkte der Taube gesammelt wirkend.
2) Der rechtwinkelige Theil des Widerstandes der Luft, *Vm*, wie im Mittelpunkte der Unterfläche gesammelt.
3) Die bewegende Kraft, *Vb*, wie in der Mitte einer Linie zwischen den Schultergelenken.

Die vereinigte Wirkung von *Vd* und *Vm* ist *Vr*, und die vereinigte Wirkung wieder von *Vr* und *Vb* ist *Vf*, die denn die Richtung und Grösse des Gewichtes, das die fortschreitende Bewegung hervorbringt, darstellt. Ist dieses kleiner als *Vd* ist imselben Verhältnisse die beschleunigende Kraft der fortschreitenden Bewegung kleiner als die der Schwere.

Solange als die Geschwindigkeit der fortschreitenden Bewegung wächst, muss auch *Vm* wachsen, während *Vd* unveränderlich ist. Dadurch hebt sich der Punkt *a* (Fig. 9) und damit die Linie *ah*, mit *ml* gleichlaufend. Also, wenn der Punkt *h* in der wagerechten Linie bleiben soll, muss *Vf* und damit *Vb* verkürzt werden. Steigt endlich *a* in die Verlängerung von *lm* hinauf, wird *Vb* gleich *Vr*, und *Vf* gleich Nichts ɔ: die beschleunigende Kraft der fortschreitenden Bewegung ist aufgehoben, und die fortschreitende Bewegung setzt sich mit unveränderter Geschwindigkeit in der Richtung *mh* fort. Die so nachlassende bewegende Kraft ist, bei der

hier vorausgesetzten Richtung von 30^0 über der wagerechten, gleich der Hälfte von *Vd*. Also, wenn ein Vogel eine solche Geschwindigkeit er-

Fig. 9.



reicht hat, dass die fortschreitende Bewegung durch den Widerstand der Luft gleichförmig werden kann, wird diese gleichförmige Bewegung ungefähr durch die Hälfte der zum Hinauffluge erforderlichen Kraft unterhalten; oder 1 Pferdekraft führt segelnd höchstens 60 ℔.

Will ein Vogel durchaus geschwinder fort, lässt er aber seine Längenrichtung sich mehr der wagerechten nähern, dass der Widerstand der Luft kleiner werde, wendet gleichzeitig mehr Kraft an und geht zum fortstrebenden Fluge über, wodurch die Geschwindigkeit z. B. einer Wandertaube nach Oken zu 10 (geogr.) Meilen in der Stunde steigen kann.

Die Flügelbewegung im Wasser.

Im Wasser finden wir unter andern Bewegungsweisen wieder die Flügelbewegung an den gepaarten Flossen der Fische, an mehreren Thieren, die flossenähnliche Vorderglieder haben, wie die Walle, Pinguine und Meerschildkröten, an den bewimperten Beinen der Wasserinsekten, am flossenfüssigen Wallfischaas etc. Weil der Widerstand des Wassers ungefähr 500 mal grösser als der der Luft ist, brauchen diese Organe eine kleinere Aus-

dehnung, geringere Geschwindigkeit und grössere Stärke; die bewegende Kraft wird aber doch nur klein im Verhältniss zum Widerstande, den das Wasser dem Vordringen des Körpers darbietet, wesshalb auch nur wenige dieser Thiere, wie wohl die Meerschildkröten und Wallfischaase, zu dieser Bewegungsweise beschränkt sind.

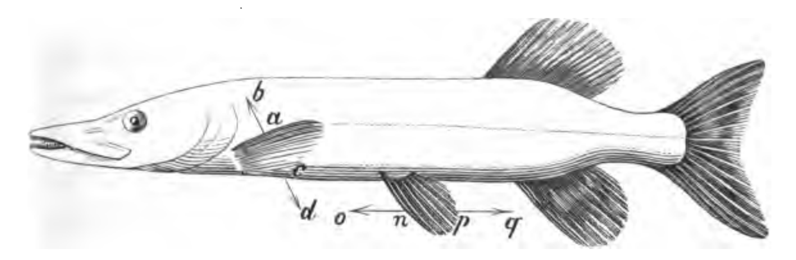
An Fischen, wo die eigentliche bewegende Kraft durch eine einfachere Bewegung des muskelreichen Schwanzes, dessen Oberfläche durch die ungepaarten Flossen vermehrt wird, hervorkommt, sind die gepaarten Flossen wesentlich nur zu kleinen Bewegungen und zum Gleichgewicht. Die bewegende Kraft einer solchen Flosse muss wie die eines Flügels in der Luft vom swächeren zum stärkeren (oft stacheligen) Rande, also in der Richtung der Linie, worin die Flosse mit dem Leibe zusammenstösst, gehen.

In Bauchflossen, z. B. am Hecht Fig. 10, ist diese Richtung gewöhnlich die Längenrichtung des Körpers, die bewegende Kraft *no* zur langsamen Fortbewegung im Wasser, die Zurüchströmung *pq*. In Brustflossen, die gewöhnlich unmittelbar hinter den Kiemenöffnungen sitzen, geht denn die bewegende Kraft (*ab*) gewöhnlich nach oben und vorwärts, und die Zurückströmung (*cd*) wird die Ausströmung des Wassers aus den Kiemen und damit das Athmen befördern. Wenn aber nur eine Brustflosse sich

bewegt, wird sie den Körper um die Längenachse drehen, beim Flusshecht z. B. zur Entgegenwirkung zufälliger Seitenströmungen, beim Haie um den Mund nach Beute zu kehren.

Eine stärkere Bewegung der beiden Brustflossen dagegen wird das Vorderende des Körpers im Wasser heben.

Fig. 10.



Wenn Fliegefische, von Haien verfolgt, durch heftige Bewegung der grossen Brustflossen, wie man sich denken kann, geschwind zur Oberfläche des Wassers hinaufsteigen und danach durch das Moment der fortschreitenden Bewegung, das wohl wesentlich der Bewegung des Schwanzes im Wasser zu verdanken ist, die Bewegungen der Brustflossen fortsetzend, einen Bogen über dem Wasser beschreiben, dann aber, wenn sie nicht vorher eine Beute der Fregattenvögel geworden sind, wieder ins Wasser fallen: können sie kaum zu den eigentlich fliegenden Thieren hingerechnet werden, sondern mögen viel mehr zeigen, wie wenig möglich es sei,

dass dieselben Organe in so verschiedenen Medien, wie Luft und Wasser, gebraucht werden können.

An den Wallen dagegen sind die flossenähnlichen Vorderglieder (nur in den Schultergelenken beweglich) so gestellt, dass die bewegende Kraft nach unten und vorne gehe. Da diese Thiere ein so geringes specifisches Gewicht haben, dass sie an der Oberfläche des Wassers mit einem Theile ihres Körpers über dem Wasser fliessen, kann auch wohl hier die Bewegung eines einzelnen Vordergliedes den Körper um die Längenachse drehen; die Bewegung beider aber führt gegen die Tiefe.

Wie die Flügelbewegung in der Luft die Schwere überwindet, so überwindet die Bewegung der flossenähnlichen Vorderglieder der Walle eine Kraft, die in der entgegengesetzten Richtung geht, nämlich den Auftrieb des Wassers.

Ende.

